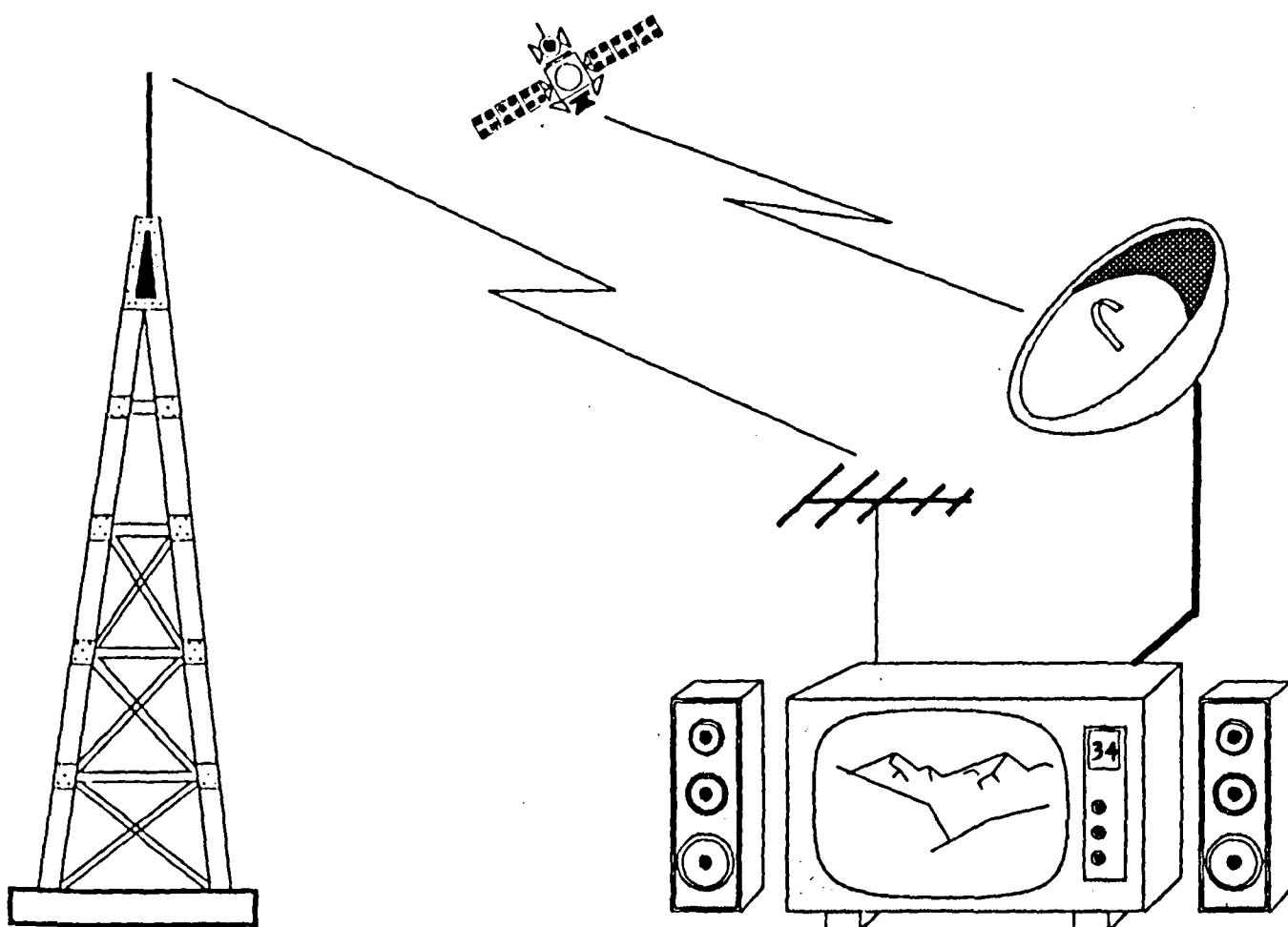




МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

РЕКОМЕНДАЦИИ МККР, 1992 г.

(Новые и пересмотренные на 15 сентября 1992 г.)



Серия RBT

ВЕЩАТЕЛЬНАЯ СЛУЖБА (ТЕЛЕВИДЕНИЕ)



МККР МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНСУЛЬТАТИВНЫЙ КОМИТЕТ ПО РАДИО

ISBN 92-61-04589-8

Женева, 1992 г.

© МСЭ 1992

Все права сохранены. Никакая часть данной публикации не может быть воспроизведена или использована в какой бы то ни было форме или с помощью каких-либо средств, электронных либо механических, включая изготовление фотокопий и микрофильмов, без письменного разрешения МСЭ.



Recommendation 813 (1992)

Methods for objective picture quality assessment in relation to impairments from digital coding of television signals [Russian version]

Extract from the publication:

CCIR Recommendations: RBT series: Broadcasting Service (Television)
(Geneva: ITU, 1992), pp. 209-214

This electronic version (PDF) was scanned by the International Telecommunication Union (ITU) Library & Archives Service from an original paper document in the ITU Library & Archives collections.

La présente version électronique (PDF) a été numérisée par le Service de la bibliothèque et des archives de l'Union internationale des télécommunications (UIT) à partir d'un document papier original des collections de ce service.

Esta versión electrónica (PDF) ha sido escaneada por el Servicio de Biblioteca y Archivos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a partir de un documento impreso original de las colecciones del Servicio de Biblioteca y Archivos de la UIT.

(ITU) للاتصالات الدولي الاتحاد في والمحفوظات المكتبة قسم أجراه الضوئي بالمسح تصوير نتاج (PDF) الإلكترونية النسخة هذه والمحفوظات المكتبة قسم في المتوفرة الوثائق ضمن أصلية ورقية وثيقة من نقلاً.

此电子版（PDF版本）由国际电信联盟（ITU）图书馆和档案室利用存于该处的纸质文件扫描提供。

Настоящий электронный вариант (PDF) был подготовлен в библиотечно-архивной службе Международного союза электросвязи путем сканирования исходного документа в бумажной форме из библиотечно-архивной службы МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ 813

МЕТОДЫ ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИ ЕГО УХУДШЕНИИ
ВСЛЕДСТВИЕ ЦИФРОВОГО КОДИРОВАНИЯ ТЕЛЕВИЗИОННОГО СИГНАЛА

(Вопрос 64/11)

(1992)

МККР,

учитывая,

- a) что при расширении области применения цифрового кодирования и передачи с сокращением цифрового потока оценка ухудшения, обусловленного кодированием, приобретает чрезвычайно важное значение;
- b) что для специфических оценок при обычных проверках или при оптимизации систем необходимы объективные измерения;
- c) что для различных цифровых систем и областей применения должны быть установлены различные виды объективных измерений;
- d) что адаптация стандартизованных методов имеет важное значение при обмене информацией между различными лабораториями,

рекомендует,

1. чтобы для объективной оценки качества цифрового изображения использовались основные методы, описанные в приложении 1;
2. чтобы выбор соответствующих объективных измерений для системы или области применения производился на основании информации, приведенной в приложении 1.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

1. Введение

По мере роста применения цифрового кодирования и передачи с сокращением цифрового потока оценка вызываемого кодированием ухудшения становится весьма важной. Понимание соответствующих методов оценки оказывает воздействие не только на характеристики новой аппаратуры кодирования, но и на интерпретацию измерений, проводимых на этой аппаратуре, а также на определение целевых характеристик. Кроме того, цифровые кодеки, обязательно использующие адаптивную и нелинейную цифровую обработку, не могут быть полностью охарактеризованы с помощью традиционных телевизионных испытательных сигналов и изображений.

Качество кодеков для применения при распределении программ может быть измерено объективно при условии, что показатели качества сопоставлены с субъективными оценками наблюдателей.

Исследования показывают желательность установления взаимосвязи между объективными измерениями сигналов, искажаемых при цифровом кодировании, и получаемыми при этом субъективными оценками качества изображения. В данном приложении приводятся результаты продвижения к этой цели, трудности получения которых растут по мере усложнения кодеков.

Качество кодека, спроектированного для применения при снабжении программами, теоретически может быть задано на языке параметров объективных характеристик, поскольку его выходной сигнал предназначен не для прямого наблюдения, а для студийной постобработки, запоминания и/или кодирования для дальнейшей передачи. Из-за сложности определения такой характеристики для множества операций постобработки предпочтение было отдано подходу, при котором определялась характеристика аппаратного тракта, включающего функцию постобработки, считавшуюся типичной для практических применений при снабжении программами. Этот тракт в типичном случае может содержать кодек, за которым следует функция студийной постобработки (или другой кодек в случае оценки номинального качества при снабжении программами), а далее еще один

кодек — прежде чем сигнал попадет к наблюдателю. Принятие такой стратегии для спецификации кодеков, применяемых для снабжения программами, означает, что процедуры измерения, приведенные в этом приложении, могут также применяться для оценки этих кодеков.

2. Классификация цифровых кодеков

Функция цифрового кодирования состоит в сокращении цифрового потока, необходимого для представления последовательности изображений с минимальной потерей качества изображения. Аппаратура кодирования выполняет сокращение, в первую очередь, за счет изъятия из изображений как можно большей доли статистической избыточности (в результате выполнения этого первого этапа сокращения не возникает потери качества). Далее, при необходимости большего сокращения цифрового потока в изображение приходится вносить некоторые искажения, хотя одна из целей проектирования кодека состоит в том, чтобы скрыть эти искажения, используя определенную перцептивную нечувствительность зрительной системы человека.

Удобно разделить кодеки на два класса: использование кодирования с фиксированной длиной слова и использование кодирования с переменной длиной слова (см. определения в § 3.1 и 3.2, соответственно). Последний класс отличается большей эффективностью и сложностью и включает в себя все ранее предложенные системы для кодирования видеосигналов по стандарту 4:2:2 для диапазона 30—45 Мбит/с. Кодеки, относящиеся к первому классу, пригодны для сокращения видеосигнала по стандарту 4:2:2 до 140 Мбит/с, сохраняя при этом качество, требуемое для использования при снабжении программами. Полезно и дальнейшее подразделение этих классов на внутриполевые (или пространственные) кодеки и межкадровые (включая межполевые) кодеки, которые содержат кадровые (или полевые) запоминающие устройства, что позволяет использовать избыточность, присущую последовательным кадрам (или полям) изображения.

Формируется третий класс кодеков, которые используют кодирование с переменной длиной слова, но предназначаются для сетей с изменяющимся цифровым потоком. В принципе такие кодеки могут сохранять неизменное качество декодированного изображения, зависящее от пределов пиковой нагрузки сети. При испытании таких кодеков по качеству должны учитываться природа используемой сети и статистические характеристики данных, вводимых каждым из ее пользователей; методы испытаний требуют исследования.

3. Объективная оценка кодеков с точки зрения ухудшения воспринимаемого изображения

3.1 Кодирование с фиксированной длиной слова

В кодеках с фиксированной длиной слова для представления фиксированного числа отсчетов изображения от источника используется фиксированное число битов. Например, в ИКМ- и ДИКМ-кодеках с фиксированной длиной слова фиксированное число битов отводится на каждый отсчет изображения, а в кодеках трансформационного кодирования и векторного квантования с фиксированной длиной слова фиксированное число битов отводится на каждый блок отсчетов изображения.

3.1.1 Методы, основанные на применении синтезированных испытательных сигналов

В этих кодеках искажение, вносимое в каждый отсчет принимаемого изображения, зависит от значений отсчетов локального окружения в данном поле (для внутриполевого кодека) либо в данном и предыдущем полях (для межкадрового кодека). Поэтому можно искусственно вызывать ухудшение характеристик цифрового кодирования изображения, используя соответствующим образом выбранные двух- или трехмерные цифровые испытательные сигналы.

Некоторые из этих видов искажений имеют привычные названия, такие как ложные контуры, гранулярный шум, смазывание, блочная структура и т. п., которые связаны с интерпретацией этих искажений зрителями. После того как искажения получены, их интенсивность может быть объективно измерена, и, с учетом опыта субъективных оценок, результаты измерений могут использоваться для определенного квантования качества кодеков. Соотнесение видов искажений с их интерпретацией зрителями может оказаться сложным для межкадровых систем кодирования и систем, использующих некоторые адаптивные обработки, поскольку они могут измениться в любой момент времени при движении или адаптации алгоритма кодирования. В предлагаемом методе при субъективных испытаниях сначала используются шкалы, полученные из пар прилагательных-антонимов (метод семантического дифференциала), а после этого результаты анализируются путем разложения по главным компонентам для выявления видов искажений, вызывающих ухудшение изображения. Результаты классификации могут быть проверены с использованием множественного регрессионного анализа, при котором виды искажений соотносятся с субъективными оценками. Перечень видов искажений, вызывающих ухудшение качества изображения, приведен в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1

Примеры видов искажений, ухудшающих качество изображения в цифровых системах, и соответствующие физические величины (параметры)

Вид искажения, ухудшающего качество изображения	Физическая величина
Смазывание изображения	Время нарастания ступенчатого перехода
Неустойчивость контуров	Диапазон дрожания ступенчатого перехода
Ложные контуры	Размах S_{pp} , минимальной ошибки квантования $p-p$
Гранулярный шум	Эквивалент аналогового отношения сигнал/шум, выраженного через $S_{pp}/N_{с.ш.}$
Эффект «грязного окна»	Максимальная амплитуда шума
Временное смазывание изображения	Время нарастания подвижных контуров
Прерывистость	Полевая или кадровая разность в положении подвижных контуров

Хотя эти методы представляются удобными при оценке кодеков и могут служить инструментом для разработчиков кодеков, их трудно связать с характеристиками кодеков для реальных изображений по следующим причинам:

- сложная композиция реальной последовательности изображений не может быть удовлетворительно смоделирована практически приемлемым количеством синтезированных испытательных сигналов;
- может существовать множество видов искажений, которые трудно классифицировать из-за их «тонкой» природы (например, конкретное искажение может быть заметно только на текстурных частях изображения, движущихся в определенном направлении);
- могут встретиться трудности при определении содержательных объективных измерений искажений (например, в отношении передачи движений). Следует заметить, что длительность периода проведения объективных измерений должна соответствовать окну наблюдения, предусмотренному для этого в периоде проведения субъективных испытаний.

3.1.2 Методы на основе натурального изобразительного материала и ошибки кодирования

Можно полагать, что натуральные последовательности изображений состоят из ряда разных областей, имеющих различное локальное содержание и по-разному использующих различные кодеки с фиксированной длиной слова. Поэтому содержание последовательности изображений будет оказывать существенное воздействие на качество изображения, воспринимаемого зрителем.

В случае проведения сравнения двух кодеков может оказаться, что тот кодек, который покажется лучшим, определит содержание последовательности изображений. Этим подчеркивается не только важность выбора испытательного изображения для субъективной оценки (см. Рекомендацию 500), но также и то, что объективный критерий характеристик конкретного кодека должен учитывать содержание изображения, если желательно обеспечить корреляцию между результатами субъективной и объективной оценок.

Наиболее распространенные виды объективных измерений качества основаны на измерении ошибки кодирования в кодеке, то есть на разнице между входной и декодированной последовательностями изображений. Такой разностный сигнал (часто с усилением) сам по себе может быть воспроизведен как последовательность изображений, и это может служить полезным вспомогательным средством для специалистов, занимающихся кодеками. Но такой сигнал не может использоваться как материал для субъективной оценки.

3.1.3 Методы на основе нормированной среднеквадратичной ошибки

Часто используемым объективным критерием качества декодированного изображения является среднеквадратичная ошибка кодирования. Она представляет собой среднее значение квадрата ошибки кодирования по всем отсчетам изображения в последовательности, которое обычно нормируется по отношению к (квадрату) полному диапазону амплитуд отсчетов изображения. Иногда нормированная среднеквадратичная ошибка (NMSE) выражается через значение помехи кодирования, оцениваемое $-10 \log(\text{NMSE})$. Широкое применение критерия NMSE объясняется его математическим удобством, но при этом измерение качества декодированного изображения требует осторожности. Например, невозможно различить небольшое число больших ошибок кодирования

(которые могут раздражать наблюдателя) и большое число малых ошибок кодирования (которые могут быть незаметными). Было испытано взвешивание сигнала ошибки кодирования (производимое после операции логарифмирования) до оценки NMSE с помощью фильтра на основе зрительной модели, что дало улучшенную корреляцию с результатами субъективной оценки. NMSE служит удобным практическим средством при разработке кодеков, когда часто требуется сравнивать очень близкие методы кодирования (то есть методы, в которых используются небольшие вариации одного и того же алгоритма, а процессы ухудшения можно считать идентичными).

3.1.4 Методы на основе зрительных моделей

На чувствительность зрительной системы человека к ошибке кодирования в конкретной области изображения большое влияние оказывают характеристики изобразительного материала именно в этой области. Неспособность учитывать это обстоятельство является главным недостатком критерия NMSE. В качестве примера такого влияния можно привести следующее: хорошо известно, что чувствительность зрителя к помехе, вызванной ошибкой кодирования, снижается, когда спектр этой помехи приблизительно совпадает со спектром «фонового» изображения. Именно это свойство зрительной системы используется при проектировании кодеков, когда для оптимизации параметров системы используются субъективные эксперименты или данные зрительно-психологического восприятия.

Чтобы улучшить корреляцию между объективными измерениями качества изображения и зрительскими оценками качества, необходимо разработать зрительную модель, которая сможет интерпретировать локальную ошибку кодирования с учетом фонового изображения и объединить все такие локальные оценки для составления общей оценки качества. Такой подход применим к кодам с фиксированной и переменной длиной слова и рассматривается в § 3.2.3.

3.2 Кодеки с переменной длиной слова

Телевизионные кодеки, которые требуются для сокращения видеоданных более чем приблизительно в два раза, используют методы, основанные на кодировании с переменной длиной слова. Такие кодеки имеют повышенную эффективность, обеспечиваемую гибкостью динамического распределения битов кодирования между частями последовательности изображений, что обуславливает их максимальную эффективность в поддержании качества декодированного изображения. Существует несколько способов подобного применения кодеков, причем необязательно имеются в виду энтропийные коды переменной длины.

3.2.1 Методы на основе использования синтезированных испытательных сигналов

Из-за гибкости этих кодеков искажение, вносимое ими в каждый кодированный отсчет, зависит не только от значений отсчетов в том же положении, но и от предшествующих данных предыдущих отсчетов на протяжении одного или более прошлых кадров. Это означает, что для внутрислововых или межкадровых кодеков с переменной длиной слова бессмысленно пытаться характеризовать кодек, провоцируя локальные искажения локальными испытательными сигналами и выполняя объективные измерения этих искажений. Но если имеется возможность искусственно блокировать режимы адаптации кодека с переменной длиной слова (что требует доступа к его внутренним функциям), то каждый режим может быть охарактеризован в отдельности. Знание процессов переключения при адаптации кодеков может быть затем использовано для объективного определения их характеристик при кодировании натуральных сцен.

Можно придумать подвижные синтетические испытательные последовательности, которые доведут кодек до состояния, при котором он дает видимые искажения, но если даже удастся определить объективные измерения, характеризующие эти искажения (см. замечание в § 3.1.1), то их интерпретация может быть осуществлена только в контексте всей данной испытательной последовательности. Отсюда возникают вопросы, насколько она типична для натуральных сцен и будет ли у разработчика кодека возможность оптимизировать характеристики кодека, согласуя их с известным испытательным материалом.

3.2.2 Методы на основе натурального изобразительного материала и ошибки кодирования

При любых оценках кодеков с переменной длиной слова важно использовать натуральные последовательности изображений. Учитывая способность этих кодеков управлять использованием битов по изображению, при суждении о критичности последовательности изображений следует подвергать тщательному изучению содержание каждой части этой последовательности (см. Рекомендацию 500). Рекомендуется, чтобы любые объективные оценки основывались на ошибке кодирования кодека при подаче на вход нескольких натуральных испытательных изображений. Метод нормированной среднеквадратичной ошибки, рассмотренный в § 3.1.3, также может быть использован при оценке ошибки кодирования кодеков с переменной длиной слова, но соответствующие результаты предназначены исключительно для интерпретации их специалистами единственно как дополнение к субъективным оценкам. Точно так же объективное сравнение кодеков на основе NMSE должно проводиться только специалистами по разработке кодеков и только в тех случаях, когда сравниваемые методы имеют весьма незначительные различия (то есть являются вариантами одного и того же алгоритма) и когда процессы, вызывающие искажения, можно считать одинаковыми.

3.2.3 Методы на основе зрительных моделей

Главный недостаток критериев на основе NMSE состоит в том, что в них не учитывается сильное влияние, оказываемое содержанием изображения на чувствительность зрителя к искажениям. Как указано в § 3.1.4, оптимальная конструкция кодека включает использование данных субъективных экспериментов и зрительно-психологического восприятия при учете допуска на искажение для зрителя и характеристик локальных областей изображения. Тем самым обеспечивается, что когда кодек с переменной длиной слова распределяет по всему изображению общий ресурс битов (а, следовательно, и амплитуды ошибок кодирования), он делает это способом, который также согласован со зрительными характеристиками. Поэтому, если нужно получить результаты, надлежащим образом коррелированные с субъективно определяемыми оценками качества, любой метод объективной оценки должен включать в себя особенности зрительной системы человека. Роль зрительной модели состоит в том, чтобы интерпретировать ошибку кодирования в контексте изображения источника, которое подвергается искажению.

Далее, в нижеследующем тексте сделано предположение, что доступа к внутренним функциям кодека не имеется. Если при этом может быть получена информация о режимах адаптации, кодеки с переменной длиной слова можно также оценивать, используя метод видов искажений (§ 3.1.1).

При разработке зрительной модели можно использовать два уровня знания. Первый уровень касается того, насколько видно любое произвольное искажение в определенном месте изображения, а второй уровень определяет, как следует скомбинировать все искажения, чтобы получить общую оценку качества. Однако следует сосредоточиться на моделях, учитывающих характеристики искажения цифровых методов кодирования; искажения, например, геометрической или семантической природы можно не учитывать. Модели отклика зрительной системы человека на искажения, вызываемые передачей изображения, строятся, исходя из явлений пороговой или близкой к пороговой видимости, что дает адекватный результат для высококачественного телевидения. Относительно моделирования отклика на большие искажения известно немного.

Проводится исследование деталей конструкции зрительной модели для прогнозирования качества изображения. В ходе исследования осуществляется разработка модели и ее характеристик в качестве предсказателя субъективного качества, начиная с простой оценки на основе необработанных критериев ошибки, через модель, включающую (нелинейную) визуальную фильтрацию, и до модели, учитывающей способность зрения к пространственному и временному маскированию. В качестве инструментов для исследования были использованы процессы искажения при равномерном квантовании, кодировании с помощью ДИКМ, вследствие аддитивного гауссова шума и низкочастотной фильтрации. Особо важную роль при составлении общего критерия качества последовательности изображений сыграла выявленная путем моделирования тенденция зрителей оценивать изображения в соответствии с уровнем искажений, присутствующих в наиболее искаженных местах изображения, а не по среднему уровню искажений по всему изображению. Недавно была разработана еще одна зрительная модель для применения при цифровом кодировании изображений.

Использование зрительных моделей для объективного определения качества изображения в присутствии не только искажений цифрового кодирования, но и вызываемых другими нелинейными и адаптивными процессами представляется весьма перспективной областью; требуются дальнейшие исследования по этому вопросу.

4. Объективная оценка качества изображения для кодеков в присутствии ошибок передачи

В условиях практической передачи линия связи между кодером и декодером может подвергаться воздействиям, которые могут внести искажения в передаваемые данные, так что важной характеристикой декодера служит его реакция на присутствие таких ошибок передачи. В тщательно сконструированном кодеке эта реакция будет иметь вид локального искажения переходов в декодированном изображении, причем количество этих переходов связано со статистикой канальных ошибок, а природа искажений связана с алгоритмом кодирования изображения и критичностью воспроизводимой последовательности изображений. В типичном случае целью оценок, учитывающих ошибки передачи, является получение для кодека графической зависимости воспринимаемого зрителем ухудшения от ошибок в определенном диапазоне их коэффициентов.

Существует несколько уровней обработки в декодере, которые определяют его реакцию на ошибки передачи, причем часть ошибок может быть подвергнута математическому анализу (или смоделирована на компьютере), тогда как другие требуют либо определенного объема субъективных оценок, либо применения объективной модели отклика зрителя на искажения переходов.

Первая ступень в объективном анализе состоит в возможно более точном описании способа появления ошибки на реальной линии связи, и обычно для этого используется статистическая модель. В своей простейшей форме такая модель предполагает, что ошибки появляются случайно и независимо (распределение Пуассона). Однако из практических наблюдений уже давно известно, что в действительности ошибки появляются в виде

групп или вспышек. Для учета этого свойства предложено несколько моделей, наиболее популярной из которых является модель на основе распределения Неймана типа А. В то время как простое распределение Пуассона полностью определяется единственным параметром — средним коэффициентом ошибок, модель А Неймана требует введения еще двух параметров, связанных со степенью группирования ошибок и плотностью ошибок в каждой группе. Пока не имеется рекомендаций по реалистическому выбору этих параметров.

Имея представление о групповой природе ошибок передачи, разработчики кодеков часто используют перестановки битов во времени перед их подачей в канал. При этом с помощью инверсного механизма перестановки в декодере появляющиеся групповые каналные ошибки рассредоточиваются и тем самым переводятся в форму, которая более удобна для обработки в используемой далее системе коррекции ошибок. Такая система коррекции ошибок способна полностью исправить ряд ошибок, используя избыточную долю объема передаваемых данных, но и после этого остается некоторое распределение «остаточных» ошибок, которые будут проникать в алгоритм декодирования. Распределение остаточных ошибок может быть рассчитано для конкретного кодека и данной модели канала, но при этом требуется оценить воздействие этих ошибок на декодированное изображение.

МККР предлагает оценивать характеристики конкретного кодека при наличии ошибок передачи в два этапа: вначале субъективно, чтобы определить ухудшение из-за искажения переходной характеристики кодека, а затем объективно, принимая во внимание остаточный коэффициент ошибок, получаемый путем вычисления с учетом приведенных выше соображений. В настоящее время не имеется экспериментальных данных в пользу этого подхода. Однако, если удастся охарактеризовать реакцию зрителя на различные переходы в кодеке, он может стать первым шагом к принятию полностью объективного критерия. Следует заметить, что некоторые из передаваемых битов более чувствительны к нарушениям, чем другие, а это значит, что реакция кодека на однобитовую остаточную ошибку может резко меняться и, кроме того, может в большой мере зависеть от критичности последовательности изображений от источника. Например, в межкадровых кодеках переходы, вызываемые остаточными ошибками, могут сохраняться в статических частях последовательности изображений, пока не будут приняты меры предосторожности по их устранению путем обновления. Наконец, некоторые кодеки, применяющие кодирование с переменной длиной слова, способны обнаруживать определенные нарушения кодирования, вызываемые ошибками передачи, и на основе этих сведений попытаться замаскировать искажающие переходы. Хотя упомянутый процесс маскирования дает результат не для каждой ошибки, в целом он обеспечивает улучшение субъективного качества результирующего изображения, что следует учитывать при любых объективных оценках кодеков.

5. Искажения при смешанной аналоговой и цифровой передаче

До сих пор проблема определения качества изображения рассматривалась отдельно для аналоговых и цифровых систем. Если исходить из упомянутой в § 3.1 психологической независимости явлений ухудшения качества изображения, то можно предположить, что описанный в этом разделе подход может быть пригодным и для смешанных систем. Тогда с точки зрения психологической независимости эти явления можно классифицировать по следующим трем группам:

- а) искажения, вызываемые только аналоговой секцией;
- б) искажения, вызываемые только цифровой секцией;
- с) искажения, вызываемые как аналоговой, так и цифровой секцией (которые в каждой отдельной системе могут быть независимыми факторами).

Искажения, вызываемые в группе а) или б), могут рассматриваться как независимые факторы, и в МККР уже предложена функция для оценки общего качества изображения в данном случае. Эта функция оценки может применяться в том случае, если в одинаковой ситуации действуют определенные взаимно независимые психологические факторы.

С другой стороны, при искажениях группы с), когда явления, ухудшающие качество изображения, из обеих секций настолько схожи, что их нельзя рассматривать как независимые, требуется найти новый способ для отнесения ухудшений качества к аналоговой или к цифровой секции, прежде чем можно будет применить вышеупомянутую функцию оценки.

Сообщается о результатах исследований для подобного случая, в ходе которых изучалось сочетание случайного шума от аналоговой системы и гранулярного шума от системы внутрикадрового ДИКМ-кодирования с фиксированной длиной слова, чтобы показать возможность замены физической величины в аналоговой системе скорректированной величиной, учитывающей различия в зрительной чувствительности.